



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA RURAL

ADUBAÇÃO FOSFATADA EM SOJA EM AMBIENTE
PROTEGIDO: DOSES E MODO DE APLICAÇÃO

LUIZ PLÁCIDO CAVALCANTI DE SOUZA ANDRADE

Areia – PB

2013

LUIZ PLÁCIDO CAVALCANTI DE SOUZA ANDRADE

**ADUBAÇÃO FOSFATADA EM SOJA EM AMBIENTE
PROTEGIDO: DOSES E MODO DE APLICAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Centro de Ciências
Agrárias, Campus II da Universidade
Federal da Paraíba, Areia-PB, como parte
integrante dos requisitos para obtenção do
título de Engenheiro Agrônomo.

ORIENTADOR: Prof.º Dr. Roberto Wagner Cavalcanti Raposo

AREIA – PB

2013

Ficha Catalográfica Elaborada na Seção de Processos Técnicos da
Biblioteca Setorial do CCA, UFPB, Campus II, Areia – PB.

A553a Andrade, Luiz Plácido Cavalcanti de Souza.
Adubação fosfatada em soja em ambiente protegido: doses e modo de aplicação.
/ Luiz Plácido Cavalcanti de Souza Andrade. - Areia: UFPB/CCA, 2013.
19 f. :

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Agronomia) - Centro de Ciências
Agrárias. Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2013.

Bibliografia.

Orientador (a): Roberto Wagner Cavalcanti Raposo.

1. Soja – adubação fosfatada 2. Desenvolvimento da soja 3. *Glycine max* L. Merrill
I. Raposo, Roberto Wagner Cavalcanti (Orientador) II. Título.

UFPB/CCA

CDU: 633.34:631.8

LUIZ PLÁCIDO CAVALCANTI DE SOUZA ANDRADE

**ADUBAÇÃO FOSFATADA EM SOJA EM AMBIENTE
PROTEGIDO: DOSES E MODO DE APLICAÇÃO**

Aprovada em: 29/04/2013

Prof.º Dr. Roberto Wagner Cavalcanti Raposo
DSER/CCA/UFPB
Orientador

Prof.º Dr. Severino Pereira de Souza Júnior
DFCA/CCA/UFPB
Examinador

Prof.º Dr. Saulo Cabral Gondim
DSER/CCA/UFPB
Examinador

**Areia – PB
2013**

DEDICO

Ao meu pai Luizmar Leitão e a minha mãe Sandra Heloísa pela educação, apoio e incentivo, e principalmente por dar todo o suporte para que eu pudesse continuar minha caminhada.

Ao meu irmão José Lamartine Neto que em todas as circunstâncias esteve do meu lado dando-me as orientações necessárias para que eu pudesse tomar as decisões corretas.

À José Lamartine, Luíza Leitão e Washington Cavalcanti (In memoriam) por ter feito parte de minha vida, passando por tantos momentos maravilhosos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ter me dado à oportunidade de estar vivenciando este momento tão singular...

Agradeço aos meus pais e irmão por terem sido “os ombros de gigantes” no qual me apoiei por todos esses anos; por ter ficado ao meu lado em todos os momentos, me dando total apoio e incentivo para seguir minha caminhada; por ter me dado discernimento, força, coragem paciência e ensinado os valores de um ser humano; à meu primo Luciano Simões pelas tantas horas de conversas e brincadeiras.

Agradeço ao professor Roberto Wagner por ter me acolhido como seu orientado, onde, com disposição, paciência e dedicação, me incentivou e ensinou o caminho do saber acadêmico.

Aos professores, Severino Pereira e Saulo Cabral, pelo empenho e contribuição para a construção deste trabalho, participando como examinadores; e ao professor Leossávio Cesar pelo apoio para realização deste trabalho.

À EMBRAPA-SOJA por ter disponibilizado as sementes de soja para que pudesse ser concretizado o experimento.

À Anderson, João Batista, Clara, Regina, Franciane e Fernanda pela grande contribuição na construção deste trabalho, e todos os outros amigos que me ajudou de alguma forma.

Aos meus amigos: Allan Radax, Allana Ramony, Antônio Augusto, Antônio Fernando, Antônio Lucena, Éden César, José Rodrigues e Leonardo da Silva, por tantas horas de estudo, diversão e companheirismo; à Adelaído pela amizade, incentivo e apoio em diversos momentos, ajudando na minha formação tanto como pessoa quanto profissional.

À todos meus amigos e familiares que de alguma forma me ajudou nessa caminhada...

Meus sinceros agradecimentos!

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
RESUMO.....	x
ABSTRACT.....	xi
1. INTRODUÇÃO.....	01
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	03
2.1. Descrição da cultura.....	03
2.2. Importância econômica.....	04
2.3. Adubação fosfatada.....	04
3. MATERIAL E METODOS.....	07
3.1. Local de condução do ensaio.....	07
3.2. Substrato utilizado.....	07
3.3. Tratamentos.....	07
3.4. Delineamento experimental.....	08
3.5. Implantação e condução do ensaio.....	08
3.6. Parâmetros avaliados.....	09
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	10
4.1. Diâmetro do caule.....	10
4.2. Número de folhas.....	10
4.3. Altura de plantas.....	11
4.4. Número de nódulos.....	12
4.5. Produção de matéria seca da parte aérea.....	12
4.6. Produção de matéria seca da raiz.....	13
4.7. Produção de matéria seca dos nódulos.....	13
5. CONCLUSÕES.....	15
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	16

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Caracterização química do solo estudado.....07

Tabela 2 - Classes de interpretação da disponibilidade para o fósforo de acordo
com o teor de argila do solo.....08

Tabela 3 - Doses de Superfosfato simples e Sulfato de Cálcio.....09

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Diâmetro do caule de plantas de soja cultivar BRS 8990 RR em função das doses de fósforo avaliado aos 48 dias após semeadura.....10
- Figura 2 – Número de folhas de plantas de soja cultivar BRS 8990 RR em função das doses de fósforo avaliado aos 48 dias após semeadura.....11
- Figura 3 – Altura de plantas de soja cultivar BRS 8990 RR em função das doses de fósforo avaliado aos 48 dias após semeadura.....11
- Figura 4 – Número de nódulos de plantas de soja cultivar BRS 8990 RR em função das doses de fósforo avaliado aos 48 dias após semeadura.....12
- Figura 5 – Produção de matéria seca da parte aérea de plantas de soja cultivar BRS 8990 RR em função das doses de fósforo avaliado aos 48 dias após semeadura....13
- Figura 6 – Produção de matéria seca da raiz de plantas de soja cultivar BRS 8990 RR em função das doses de fósforo avaliado aos 48 dias após semeadura.....13
- Figura 7 – Produção de matéria seca dos nódulos de plantas de soja cultivar BRS 8990 RR em função das doses de fósforo avaliado aos 48 dias após semeadura....14

Andrade, L. P. C. S. **Adubação fosfatada em soja em ambiente protegido: doses e modo de aplicação.** 2013. 19 f.: Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Agronomia) - Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba, Areia-PB.

RESUMO

Ocorre uma grande fixação de fósforo em solos do tipo Latossolo, e sendo este proveniente de recurso natural não-renovável, deve existir um aproveitamento consciente deste nutriente, garantindo assim uma forma sustentável de praticar agricultura. Este trabalho teve por objetivo avaliar, em condições de cultivo protegido, a dose de fósforo que propicie o melhor desenvolvimento da soja, e comparar se o modo de aplicação de fósforo determina modificações nos aspectos de desenvolvimento da planta. O experimento foi conduzido em ambiente protegido do DSER/CCA/UFPB, no município de Areia – PB. Utilizou-se como substrato, material da camada superficial de um Latossolo Amarelo distrófico típico textura argila arenosa, peneirado numa malha de 2 mm. Foram utilizados oito tratamentos, sendo uma combinação de quatro doses de fósforo (0, 15, 30 e 75 mg dm⁻³) e dois modos de aplicação (localizado e distribuído uniformemente): T₁ – 15 mg dm⁻³ de P₂O₅ aplicado localizado, T₂ – 15 mg dm⁻³ de P₂O₅ aplicado distribuído uniformemente, T₃ – 30 mg dm⁻³ de P₂O₅ aplicado localizado, T₄ – 30 mg dm⁻³ de P₂O₅ aplicado distribuído uniformemente, T₅ – 45 mg dm⁻³ de P₂O₅ aplicado localizado, T₆ – 75 mg dm⁻³ de P₂O₅ aplicado localizado, T₇ – 75 mg dm⁻³ de P₂O₅ aplicado distribuído uniformemente, e T₈ – 0 mg dm⁻³ de P₂O₅ (testemunha), utilizando o delineamento experimental em blocos ao acaso com oito tratamentos e cinco repetições. Aos 48 dias após a semeadura, foram avaliados os seguintes parâmetros: diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF), altura de plantas (AP), número de nódulos (NN), produção de matéria seca da parte aérea (PMSPA), produção de matéria seca da raiz (PMSR) e produção de matéria seca dos nódulos (PMSN). O diâmetro do caule, número de folhas, número de nódulos, peso da matéria seca da parte aérea, peso da matéria seca da raiz e peso da matéria seca dos nódulos, cujos dados se ajustaram ao modelo quadrático, obtendo o melhor desempenho para as doses de 62,25; 55,19; 51,18; 81,05; 47,32 e 52 mg dm⁻³, respectivamente. E a variável altura apresentou uma resposta linear crescente, não alcançando a sua estabilidade.

Palavras chave: *Glycine max* L. Merrill; desenvolvimento da soja; fósforo.

Andrade, L. P. C. S. Phosphorus fertilization on soybean in greenhouse: dose and method of application. In 2013. 19 f.: Work completion of course (Graduation in Agronomy) - Center for Agricultural Sciences. Federal University of Paraíba, Areia-PB.

ABSTRACT

Is a great match fixing in soil types dystrophic, and this is coming from non-renewable natural resource, there must be a conscious use of this nutrient, thus ensuring a sustainable way of practicing agriculture. This study aimed to evaluate, under protected cultivation, the amount of phosphorus that provides the best soybean development, and compare the mode of application of phosphorus determines changes in aspects of plant development. The experiment was conducted in greenhouse of DSER/CCA/UFPB in Areia - PB. Was used as substrate material of the surface layer of a yellow Latosol texture sandy clay, sieved in a 2 mm mesh. Eight treatments were used, with a combination of four levels of phosphorus (0, 15, 30 and 75 mg dm⁻³) and two application modes (localized and uniformly distributed): T₁ - 15 mg dm⁻³ of P₂O₅ applied located, T₂ - 15 mg dm⁻³ of P₂O₅ applied evenly distributed, T₃ - 30 mg dm⁻³ of P₂O₅ applied located, T₄ - 30 mg dm⁻³ of P₂O₅ applied evenly distributed, T₅ - 45 mg dm⁻³ of P₂O₅ applied located T₆ - 75 mg dm⁻³ of P₂O₅ applied located T₇ - 75 mg dm⁻³ of P₂O₅ applied evenly distributed, and T₈ - 0 mg dm⁻³ of P₂O₅ (control), using the experimental design in blocks with eight treatments and five replications. 48 days after sowing, the following parameters were evaluated: stem diameter (DC), number of leaves (NL), plant height (PH), number of nodes (NN), dry matter production of shoots (PMSPA), production of root dry matter (PMSR) and dry matter production of nodules (PMSN). The stem diameter, number of leaves, number of nodules, dry weight of shoot, dry weight and root dry weight of nodules, whose data were adjusted to the quadratic model, getting the best performance for the doses of 62,25; 55,19; 51,18; 81,05; 47,32 and 52 mg dm⁻³, respectively. And the variable height showed a positive linear correlation, not reaching its stability.

Key words: *Glycine max* L. Merrill; soybean development, phosphorus.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com a Food and Agriculture Organization - FAO (2012), em 2011 a produção mundial de soja obteve 260,9 milhões de toneladas, sendo os E.U.A. o maior produtor, seguido do Brasil e Argentina, com produção de 87.171.600, 74.815.400 e 48.878.800 de toneladas, respectivamente. Com esses dados, o Brasil contribui com 28,67 % da produção mundial.

A área brasileira cultivada com soja na safra 2012/13 obteve um aumento de 8,8% em relação à de 2011/12 chegando a aproximadamente 27,24 milhões de ha, apresentando uma produtividade em torno de 3.033 kg ha⁻¹, acréscimo de 14,4% em relação à safra anterior. Essa expansão em área se deu através de pesquisas para obtenção de novas variedades e que apresentem maior adaptabilidade a diferentes climas, uma vez que a cultura da soja é proveniente de regiões mais frias (CONAB, 2012).

A soja constitui-se em um dos principais cultivos da agricultura mundial e brasileira, devido ao seu potencial produtivo e a sua composição química e valor nutritivo, que lhe confere multiplicidade de aplicações na alimentação humana e animal, com relevante papel socioeconômico, além de se constituir em matéria-prima indispensável para impulsionar diversos complexos agroindustriais (MAUAD *et al.*, 2010).

Os solos brasileiros são carentes de fósforo (P) em consequência do material de origem e da forte interação do P com o solo (RAIJ, 1991). A deficiência de fósforo é um dos principais fatores limitantes do crescimento de plantas nos solos tropicais, principalmente devido à imobilização por fixação nos óxidos de Al e Fe. Simbioses mutualísticas com fungos micorrízicos ocorrem em várias leguminosas permitindo que estas espécies tenham bom desenvolvimento e nodulação em solos com baixos teores de nutrientes, especialmente o P (JASPER *et al.*, 1989; HERRERA *et al.*, 1993).

A deficiência de fósforo diminui o potencial de rendimento da soja, já nos estádios reprodutivos iniciais, como o florescimento, pela menor produção de flores e maior aborto dessas estruturas e nas fases seguintes, com formação de menor quantidade e maior aborto de legumes (VENTIMIGLIA *et al.*, 1999).

O fósforo, indiscutivelmente, desempenha um papel de extrema importância, tanto no início da formação dos nódulos como pelo fornecimento de energia em todos os estádios da simbiose, e como na maioria dos solos brasileiros é

caracterizado pelo baixo teor desse nutriente, a cultura responde bem a adubações fosfatadas (HUNGRIA, 1994).

A soja (*Glycine max* L. Merrill) é uma das culturas que mais produz grãos no mundo sendo cultivada em quase todo o território brasileiro, atingindo altos índices de produtividade (SEGATELLI, 2004).

O cultivo da soja vem se destacando cada vez mais como uma opção rentável e de alta qualidade para os agricultores das regiões Norte e Nordeste do país (PEREIRA *et al.*, 2011). Nas regiões de expansão e região potencial, compreendendo parte do Norte e Nordeste do Brasil, os programas de melhoramento buscaram o desenvolvimento de genótipos com características de período juvenil longo, por causa das limitações no porte e na produtividade (VIANA, 2007).

Diante do exposto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar em condições de ambiente protegido, a dose de fósforo que propicie o melhor desenvolvimento da soja e comparar se o modo de aplicação de fósforo determina modificações nos aspectos de desenvolvimento da planta.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Descrição da cultura

A soja apresenta como centro de origem e domesticação o nordeste da Ásia (China e regiões adjacentes) e a sua disseminação do Oriente para o Ocidente ocorreu através de navegações (CHUNG e SINGH, 2008). Apesar de explorada há mais de 5 milênios no Oriente, só a partir da segunda década do século XX, que o Ocidente começou a cultivar comercialmente, com os Estados Unidos, onde em 1941, a área cultivada para grãos superou a cultivada para forragem, cujo cultivo desapareceu nos meados dos anos 60 (EMBRAPA, 2004).

No Brasil, a soja só chegou por volta de 1882, por Gustavo Dutra, no Estado da Bahia, e em 1891 foram feitas pesquisas em busca de conhecimento da cultura em São Paulo, seguindo a partir de 1900, para o Rio Grande do Sul, onde a cultura encontrou efetivas condições para se desenvolver e expandir, dadas as semelhanças climáticas do ecossistema de origem (EMBRAPA, 2004).

A implantação de programas de melhoramento de soja no Brasil possibilitou o avanço da cultura para as regiões de baixas latitudes, através do desenvolvimento de cultivares mais adaptados por meio da incorporação de genes que atrasam o florescimento mesmo em condições de fotoperíodo indutor, conferindo a característica de período juvenil longo (KIIHL e GARCIA, 1989).

A soja é uma planta pertencente ao reino *Plantae*, divisão *Magnoliophyta*, classe *Magnoliopsida*, ordem *Fabales*, família *Fabaceae* (*Leguminosae*), subfamília *Faboideae* (*Papilionoideae*), gênero *Glycine*, espécie *Glycine max* e forma cultivada *Glycine max* (L.) Merrill de acordo com Sedyama (2009).

De acordo com Santos (1995), a soja é um vegetal herbáceo e anual, sua raiz é do tipo pivotante, podendo apresentar pequenos nódulos ligados ao sistema vascular; com caule herbáceo, ereto, revestido por pelos que podem ser brancos, pardos queimados ou tostados, dependendo da cultivar podem ser mais ou menos ramificados; apresentam três tipos de folhas: cotiledonares, em número de duas, são as primeiras a emergir; simples, as duas folhas de lâminas simples e opostas surgem após as primordiais; as compostas trifoliadas têm duas estípulas em sua base, são do tipo alternadas, de pecíolos grandes, folíolos ovais ou ovais-lanceolados. A flor é completa (possui perianto e órgãos sexuais), sendo portanto hermafrodita; a coloração das pétalas pode ser branca ou roxa, em diversos tons. As inflorescências nascem nas axilas das

folhas ou, às vezes, no ápice das ramificações do caule, são do tipo racemosas e o número de flores varia de oito a quarenta por inflorescência. O fruto é do tipo vagem e pode chegar a 400 por planta, com número de grãos variando de um a cinco por vagem. Contudo, a maioria das cultivares apresenta vagens com dois ou três grãos. Suas sementes possuem variações quanto à forma, tamanho e cor (SEDIYAMA, 2009).

2.2. Importância econômica

No mundo são cultivados cerca de 102,9 milhões de hectares com soja, correspondendo a 14,76 % da área total cultivada com cereais, que é aproximadamente 697,6 milhões de hectares. Com uma produção de 260,9 milhões de toneladas, a soja movimentou em 2010, US\$ 57,1 bilhão entre importações e exportações (FAO, 2012).

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB (2013) a estimativa de plantio da soja para a safra 2012/2013 é de 27,7 milhões de hectares, um aumento de 10,7 % em relação à safra 2011/2012; em relação à produção, a cultura da soja registra crescimento de 23,4%, isto é, 15,55 milhões de toneladas superior à produção da safra anterior, passando de 66,38 para 81,94 milhões de toneladas; mostrando assim, a consolidação do forte incremento na área plantada da oleaginosa em relação ao exercício anterior, fato observado desde as primeiras avaliações, influenciado pela excelente performance nas cotações da oleaginosa no mercado internacional e no mercado interno pela sua repercussão representada pela comercialização antecipada, que nessa temporada atingiu níveis recordes.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2013) o Nordeste brasileiro teve uma participação de 8 % da área plantada no país, com plantio de 2,11 milhões de hectares; e uma produção de 6,09 milhões de toneladas do grão, contribuindo com 9,28 % da produção nacional na safra de 2012. Mato Grosso, Goiás, Paraná e Rio Grande do Sul produzem 82% da soja nacional. Mas a produção avança agora para a região conhecida como MAPITOBA, nos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, que já respondem por 13% da produção brasileira (WWF, 2012). Na Região Norte-Nordeste, com destaque para essa região foi duramente afetada pela estiagem. O cerrado piauiense e o oeste baiano apresentaram reduções recordes em comparação com a temporada anterior – 31,3% e 21,1% (CONAB,2013).

2.3. Adubação fosfatada

Segundo Barber (1984) o P no solo pode ser dividido em quatro amplas categorias: P na forma iônica e em compostos na solução do solo; P adsorvido na superfície dos constituintes minerais do solo; minerais cristalinos e amorfos de P; e P componente da matéria orgânica; como as plantas absorvem fósforo da solução do solo, portanto o único fósforo que está disponível imediatamente é o fósforo em solução (RAIJ, 1983), e como as concentrações de P na solução do solo são, usualmente, muito baixas, variando entre 0,1 e 10 $\mu\text{mol L}^{-1}$ (ARAÚJO e MACHADO, 2006), o fósforo se torna o nutriente mais limitante da produtividade de biomassa em solos tropicais (NOVAIS e SMYTH, 1999).

O fósforo é um macronutriente essencial que, apesar de não ser exigido em grande quantidade pelas plantas, como o N e o K, é o mais estudado devido a sua baixa disponibilidade nos solos, cujas causas estão relacionadas à sorção deste elemento, que englobam os processos de adsorção e de precipitação. A adsorção ocorre principalmente entre o P e as superfícies dos óxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al) presentes no solo, enquanto a precipitação pode ocorrer com íons de Fe e de Al, em solos ácidos, ou com o cálcio (Ca), em solos neutros ou alcalinos (NOVAIS e SMITH, 1999).

Relativo ao modo de aplicação, LEITE *et al.* (2006) observaram que a produção de matéria seca não se relacionou bem com a quantidade de P aplicado por vaso, mas sim, com as doses aplicadas nos dois locais, mostrando o efeito da localização.

Um dos fatores responsáveis pela baixa disponibilidade de fósforo (P), nos solos das regiões tropicais, é o fenômeno da fixação do mesmo em reações com componentes do solo, necessitando, portanto, da aplicação de maiores quantidades de fosfatos para viabilizar o uso agrícola desses solos; outro fator dos solos brasileiros serem carentes em P é em consequência do material de origem e da forte interação do P com o solo (RAIJ, 1991). Em solos ácidos, com predomínio de caulinita e óxidos de ferro e alumínio, são mais importantes às combinações de fósforo com ferro e alumínio, enquanto que em solos neutros ou calcários, aparecem fosfatos de cálcio de ordem elevada e baixa solubilidade. Como reflexo da baixa solubilidade do composto de fósforo, são baixos os teores de fósforo na solução do solo, raramente atingindo 0,1 ppm (partes por milhão), sendo em geral muito mais baixos (RAIJ, 1983).

O P participa de vários processos metabólicos em plantas, como a transferência de energia, síntese de ácidos nucleicos, glicose, respiração, síntese e

estabilidade de membrana, ativação e desativação de enzimas, reações redox, metabolismo de carboidratos e fixação de N_2 (VANCE *et al.*, 2003), esta última sendo por tanto a redução do N_2 atmosférico que ocorre nos bacteróides quanto a assimilação de NH_4^+ em aminoácidos e ureídos que ocorre na fração vegetal dos nódulos são processos consumidores de energia, dependentes da disponibilidade de ATP (SA e ISRAEL, 1991).

Plantas dependentes da fixação de N_2 apresentam maior requerimento de P para obtenção de crescimento ótimo do que aquelas supridas com NO_3^- , e os processos associados à fixação de N_2 respondem mais intensamente ao suprimento de P do que o próprio crescimento vegetal (CASSMAN *et al.*, 1980; ISRAEL, 1987).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local de condução do ensaio

A pesquisa foi conduzida em ambiente protegido pertencente ao Departamento de Solos e Engenharia Rural, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, localizado no município de Areia – PB. Fisiograficamente a cidade de Areia está localizada na Microrregião do Brejo Paraibano. O local do ensaio dista aproximadamente 3 km a Norte do ponto das coordenadas geográficas: 6°58'12" de latitude Sul, 35°42'15" de longitude a Oeste de Greenwich e 619 metros de altitude (PARAÍBA, 1977).

3.2. Substrato utilizado

O solo utilizado como substrato foi da área experimental do Centro de Ciências Agrárias, onde o mesmo é classificado como Latossolo Amarelo distrófico típico textura argila arenosa (EMBRAPA, 2006). Foi realizada a calagem de acordo com a recomendação. Após a coleta, o solo foi peneirado em malha de 2 mm para separação de torrões, raízes e palha e em seguida, levada uma amostra do solo para análise química onde os resultados se encontram na tabela abaixo, e o restante do material foi utilizado no enchimento dos vasos.

Tabela 1 – Caracterização química do solo utilizado no experimento.

pH	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H + Al	SB	CTC	V
	--mg dm ⁻³ --					-----cmol _c dm ⁻³ -----				%
5,64	1,94	0,2	0,06	3,6	1,2	0,05	6,43	4,8	11,23	42,74

3.3. Tratamentos

Foram utilizados oito tratamentos, sendo uma combinação de quatro doses de fósforo (0, 15, 30 e 75 mg dm⁻³), utilizando como fonte de P₂O₅ o adubo superfosfato simples (20 % P₂O₅, 12% de S) e dois modos de aplicação (aplicação localizada e distribuído uniformemente). As quantidades de fósforo foram definidas de acordo com o resultado do teor de fósforo contido no solo estudado, de tal forma que após a aplicação do mesmo, os teores estejam nas classes: muito baixo, médio, bom e muito bom (RIBEIRO *et al.*, 1999) como mostra a tabela a seguir:

Tabela 2 - Classes de interpretação da disponibilidade para o fósforo de acordo com o teor de argila do solo.

Característica	Classificação				
	Muito baixo	Baixo	Médio	Bom	Muito bom
	mg dm^{-3}				
Argila (%)	Fósforo disponível				
15 - 35	$\leq 6,6$	6,7 - 12,0	12,1 - 20,0	20,1 - 30,0	$> 30,0$

3.4. Delineamento experimental

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância, utilizando-se o teste F. Em caso de significância foi utilizado a análise de regressão. O experimento foi instalado em esquema fatorial 4x2, em delineamento em blocos casualizados, com oito tratamentos (sete combinações + testemunha) e cinco repetições, totalizando 40 parcelas, onde cada unidade experimental foi composta por um vaso de $3,3 \text{ dm}^{-3}$.

3.5. Implantação e condução do ensaio

O ensaio foi implantado em janeiro de 2013, conduzido durante 60 dias, com término em março de 2013. Nos vasos em que a aplicação de fósforo foi localizada, foi colocado $1,5 \text{ dm}^{-3}$ de solo peneirado e em seguida foi adicionado o adubo na parte central do vaso completando-se em seguida com solo peneirado até um volume de $3,3 \text{ dm}^{-3}$. Em relação aos tratamentos onde a distribuição do fósforo foi uniforme, foi medido $3,3 \text{ dm}^{-3}$ de solo e colocado em bandeja; após adicionado a dose de fósforo, foi misturado para uniformização da adubação, e em seguida colocado nos vasos.

Para a realização do experimento, foi utilizado a cultivar de soja BRS 8990 RR concedido pela EMBRAPA-SOJA. Antes da semeadura foi realizada a inoculação das sementes com estirpes do gênero *Bradyrhizobium*, com produto comercial, na recomendação de 30 g de inoculante para 25 kg de sementes de soja. Foi realizada a pesagem das sementes que seria utilizada no experimento e calculada a quantidade necessária do inoculante. Para uma maior adesão, a cada 25 g do inoculante foram adicionados 30 ml de solução açucarada, na proporção de uma parte de açúcar para nove partes de água. Como foi realizado a inoculação não se aplicou adubo nitrogenado e a adubação potássica foi feita com 361,41 mg de KCl de acordo com a análise de solo.

Na semeadura foram utilizadas três sementes por vaso, e uma semana após a emergência foi feita o desbaste, deixando apenas a planta mais vigorosa.

Para assegurar que todos os tratamentos recebessem a mesma quantidade de enxofre, foi feito o balanceamento do mesmo utilizando-se o sulfato de cálcio (CaSO_4) (Tabela 3).

Tabela 3 – Doses de Superfosfato simples e Sulfato de Cálcio

P₂O₅ (mg dm ⁻³)	Superfosfato simples (mg)	Sulfato de Cálcio (g)
0	0	1,66
15	515,4	1,33
30	1030,8	0,99
75	2577	0

A partir da aplicação de água no solo estudado e através de observação do volume umedecido, constatou que o volume de água para alcançar 70% da capacidade de campo do solo era de 750 ml. Com base nesse valor, os vasos foram pesados, obtendo-se os valores de retenção de água no solo para a manutenção da umidade durante o experimento, mediante pesagens diárias e regas na superfície.

3.6. Parâmetros avaliados

Aos 48 dias após a semeadura foi avaliados o diâmetro do caule a dois centímetros de altura da superfície com auxílio de um paquímetro digital; foi realizada a contagem do número de folhas; foi medida a altura da planta utilizando uma trena; foi realizada a contagem do número de nódulos; e a produção de matéria seca da parte aérea, a produção da matéria seca da raiz e a produção da matéria seca dos nódulos foi medida com uma balança de precisão.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Diâmetro do caule

A Figura 1 mostra os dados da análise de regressão para diâmetro do caule como variável analisada, onde houve um melhor ajuste para o modelo quadrático; sendo o valor de 62,25 mg dm⁻³ de P₂O₅ a dose que expressou maior influência sobre o diâmetro do caule. Como o fósforo desempenha, entre outras funções, o estabelecimento da cultura, era de se esperar que, suas raízes promovessem uma resposta mais favorável sobre o diâmetro caulinar. Resultados diferentes foram obtidos por Souto *et al.* (2009) quando se avaliou o diâmetro do caule, onde obtiveram resultados significativos para localização de adubação na cultura do feijão guandu. Solano e Yamashita (2011) observaram comportamento semelhante ao diâmetro do caule quando avaliado o espaçamento, demonstrando que os maiores espaçamentos promovem o desenvolvimento de plantas com menor diâmetro de caule.

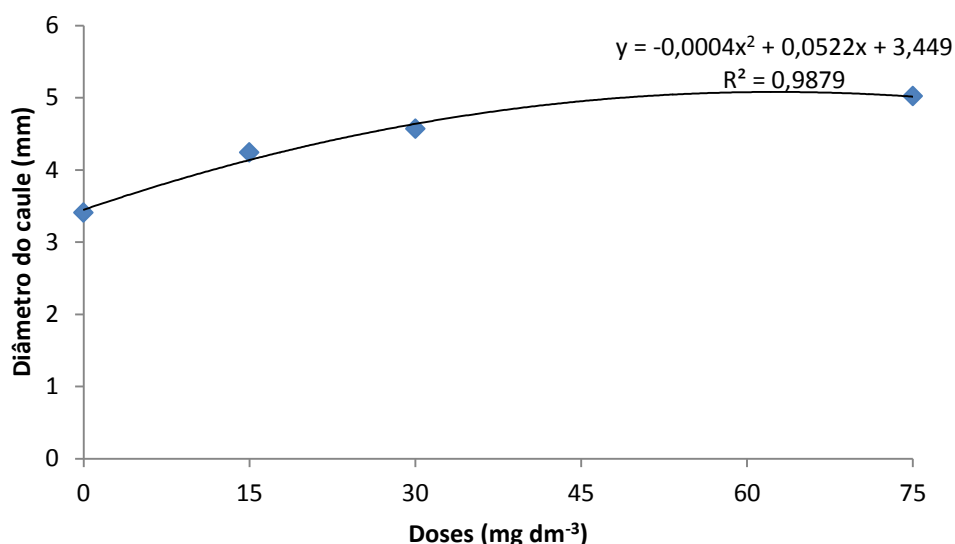


Figura 1 – Diâmetro do caule de plantas de soja cultivar BRS 8990 RR em função das doses de fósforo avaliado aos 48 dias após semeadura.

4.2. Número de folhas

Em relação ao número de folhas, o melhor modelo que descreve o parâmetro avaliado é o quadrático, onde o número de folhas aumenta de acordo com o aumento das doses; onde na dose de 55,19 mg dm⁻³ obtêm-se o maior valor do número de folhas; Prado *et al.* (2010) obtiveram resultados semelhantes, onde os resultados demonstram que na deficiência de fósforo, o número de folhas reduz significativamente corroborando com os resultados obtidos por este trabalho. Resultados semelhantes

também foram obtidos por Rodríguez *et al.* (1998), quando o baixo suprimento de P diminuiu a área foliar, principalmente pela redução do número de folhas.

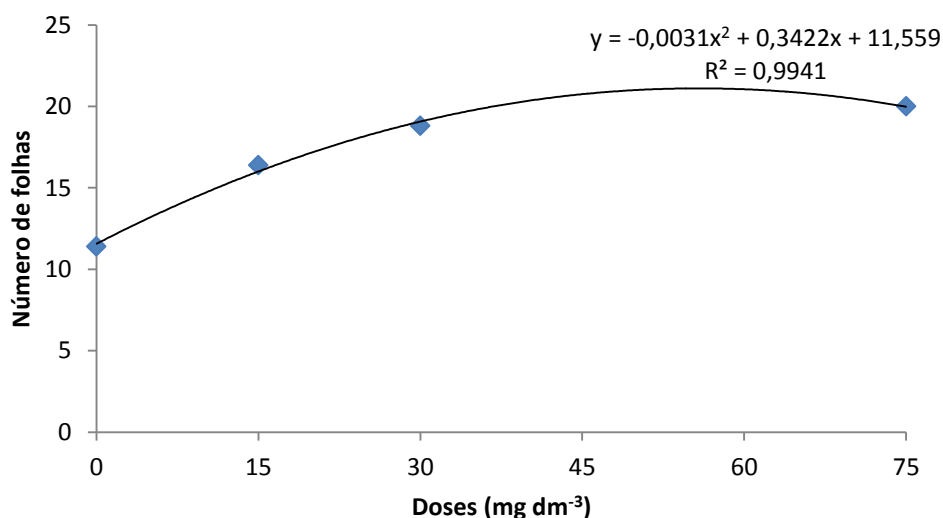


Figura 2 – Número de folhas de plantas de soja cultivar BRS 8990 RR em função das doses de fósforo avaliado aos 48 dias após semeadura.

4.3. Altura de plantas

Em relação à altura de plantas, obtivemos uma equação linear em que, a altura é diretamente proporcional à dose aplicada, diferentemente do trabalho de Valadão Júnior *et al.* (2008) onde obtiveram o modelo quadrático como o melhor que descreveu o efeito das doses, assim como também obtiveram Neto *et al.* (2010), os quais também encontraram um modelo quadrático na resposta da altura de plantas de soja para doses de fósforo; este comportamento pode ser explicado pela avaliação ser realizado aos 48 dias após a semeadura, onde o crescimento não havia se estabelecido.

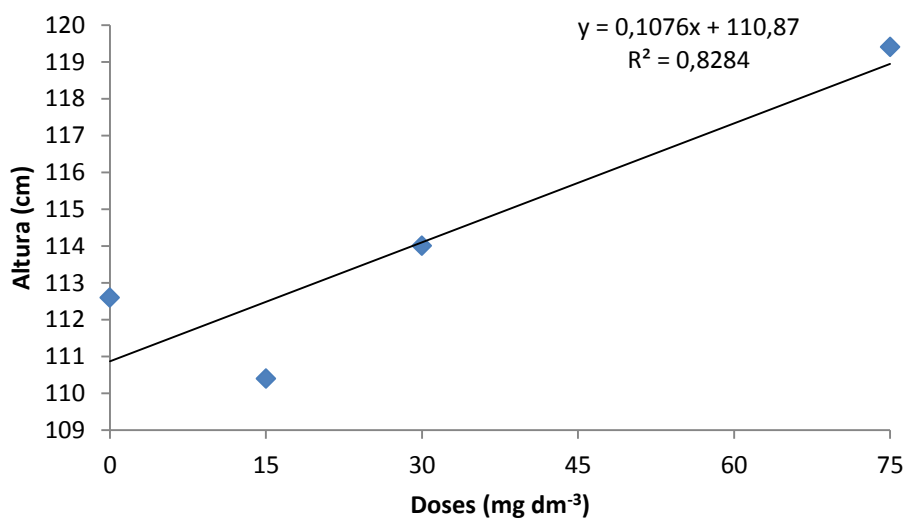


Figura 3 – Altura de plantas de soja cultivar BRS 8990 RR em função das doses de fósforo avaliado aos 48 dias após semeadura.

4.4. Número de nódulos

O modelo de regressão quadrático foi o que melhor descreveu o efeito das doses sobre número de nódulos (Figura 4). A partir da derivação da função verificou-se que a média do número de nódulos máxima estimada foi de 25,82 obtido com a dose de 51,18 mg dm⁻³ de P₂O₅. Araújo *et al.* (2005) obtiveram resultados variados de acordo com a variedade trabalhada, onde tratamentos apresentaram uma tendência a diminuir com a aplicação de doses intermediárias de fósforo, outros apresentaram o número de nódulos aumentando com o incremento das doses de fósforo, e outro não respondeu à adubação fosfatada.

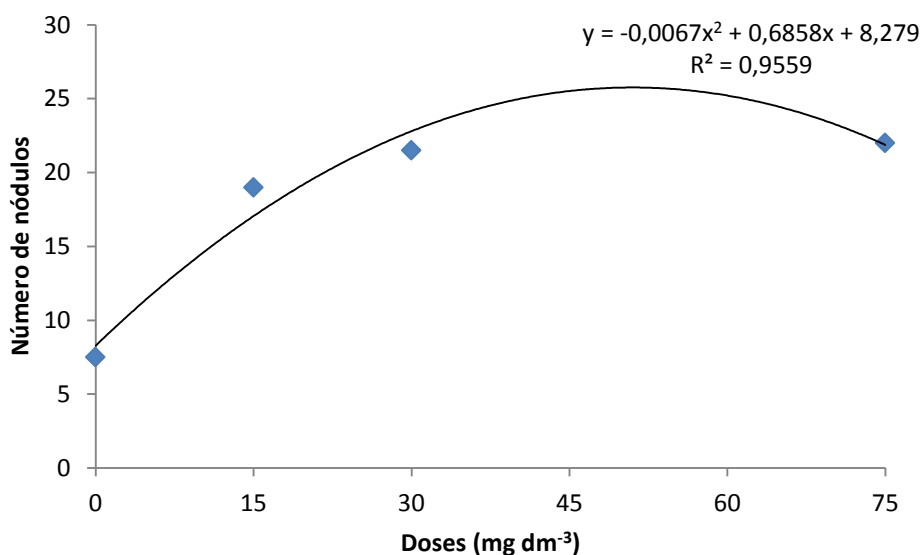


Figura 4 – Número de nódulos de plantas de soja cultivar BRS 8990 RR em função das doses de fósforo avaliado aos 48 dias após semeadura.

4.5. Produção de matéria seca da parte aérea

Para a produção de matéria seca da parte aérea o melhor ajuste foi para o modelo quadrático, onde podemos observar na Figura 5, que a matéria seca aumenta de acordo com as doses, porém, o ponto de inflexão (81,05 mg dm⁻³) ultrapassou a maior dose utilizada no trabalho. Resultados semelhantes foram obtidos por Piaia *et al.* (2002) onde o modelo linear teve um melhor ajuste quando a saturação por base (V) era de 65%, e no modelo quadrático para V igual a 50 %.

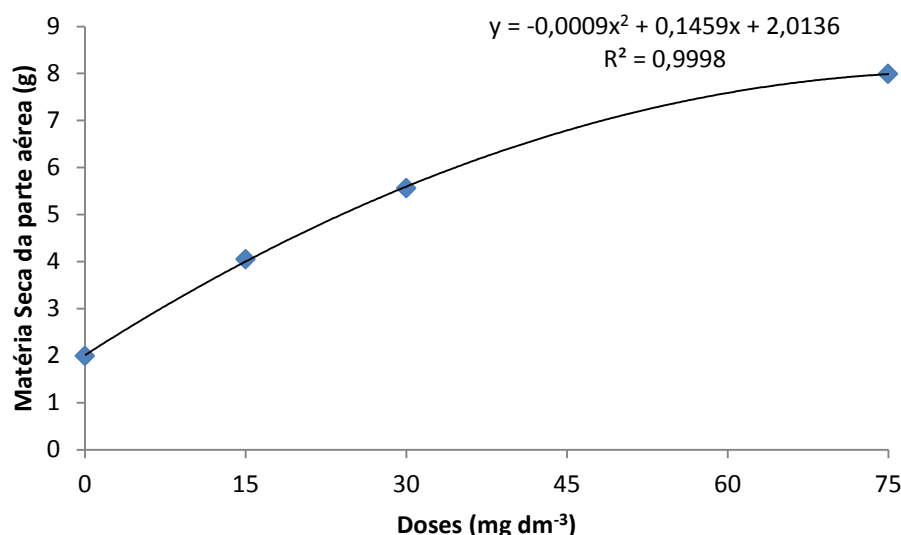


Figura 5 – Produção de matéria seca da parte aérea de plantas de soja cultivar BRS 8990 RR em função das doses de fósforo avaliado aos 48 dias após semeadura.

4.6. Produção de matéria seca da raiz

O modelo que melhor se ajustou para os dados de produção de matéria seca da raiz (PMSR) foi a quadrática; em que a dose que promove uma maior produção de PMSR é de 47,32 mg dm⁻³, corroborando com o trabalho de Corrêa *et al.* (2004), em que apresenta o modelo quadrático como o que melhor descreve este comportamento.

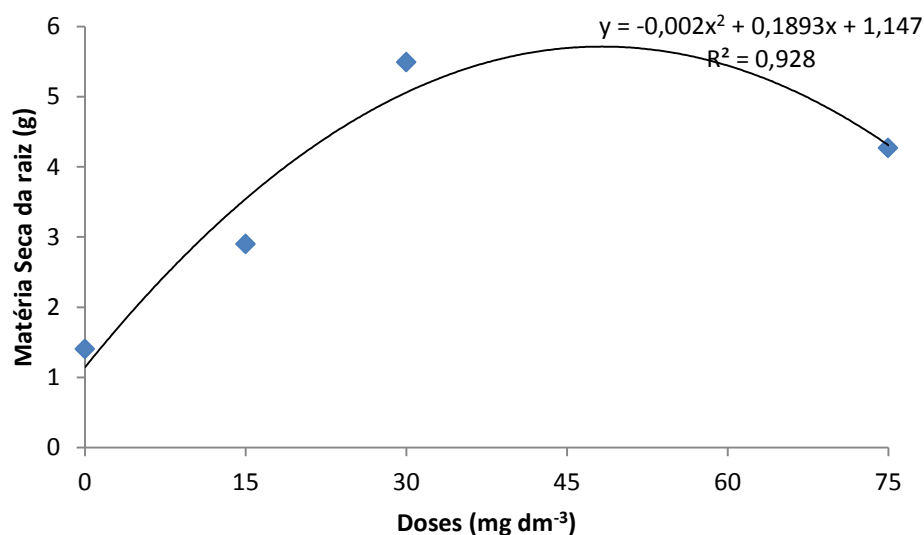


Figura 6 – Produção de matéria seca da raiz de plantas de soja cultivar BRS 8990 RR em função das doses de fósforo avaliado aos 48 dias após semeadura.

4.7. Produção de matéria seca dos nódulos

Para produção de matéria seca dos nódulos (PMSN) não houve ajuste para modelo linear, sendo o modelo quadrático o melhor que o descreve. A dose que

contribui com uma maior PMSN é de 52 mg dm^{-3} . Observando a Figura 7, pode constatar que a partir da dose de 15 mg dm^{-3} , já é o suficiente para se obter resultado satisfatório com a produção de matéria seca dos nódulos.

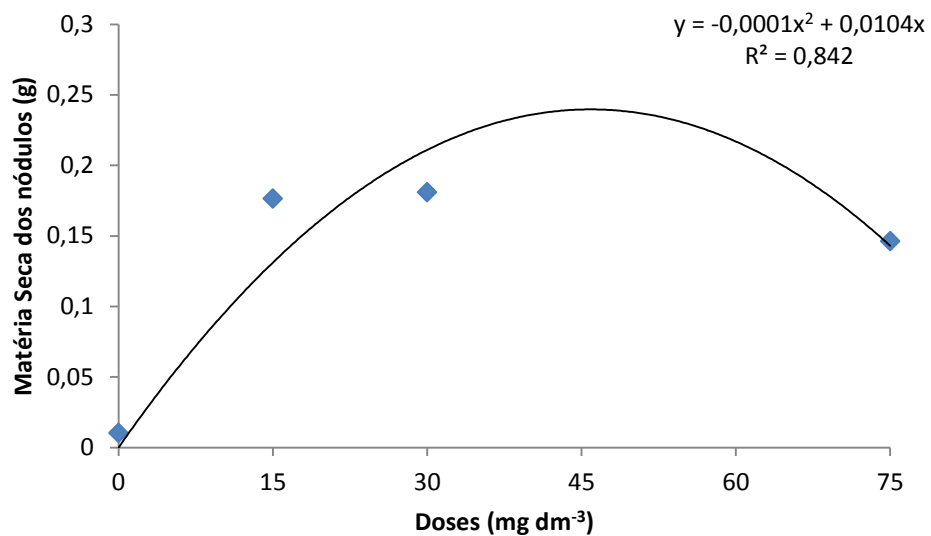


Figura 7 – Produção de matéria seca dos nódulos de plantas de soja cultivar BRS 8990 RR em função das doses de fósforo avaliado aos 48 dias após semeadura.

5. CONCLUSÕES

- ✓ Com aplicação de 62,25 e 55,19 mg dm⁻³ de P₂O₅ obteve-se os melhores resultados para o diâmetro do caule e o número de folhas, respectivamente;
- ✓ Para o parâmetro altura, nas condições experimentais, não chegou a ser observado a sua estabilidade, obtendo assim, uma resposta linear crescente;
- ✓ Para número de nódulos, a melhor dose de P₂O₅ é de 51,18 mg dm⁻³;
- ✓ Como a adição de 81,05, 47,32 e 52 mg dm⁻³ se obteve o maior peso de matéria seca da parte aérea, da raiz e dos nódulos, respectivamente;
- ✓ Não houve significância entre os modos de aplicação.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCÂNTARA NETO, F. *et al.* Adubação fosfatada na cultura da soja na microrregião do Alto Médio Gurguéia. *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza-CE, v. 41, n. 2, p.266-271, 2010.

ARAÚJO, W. F.; SAMPAIO, R. A.; MEDEIROS, R. D. Resposta de cultivares de soja à adubação fosfatada. *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza-CE, v. 36, n. 2, p.129-134, 2005.

BARBER, S.A. Soil nutrient bioavailability: A mechanistic approach. New York, Wiley-Interscience, 1984. 398p. *In*: FERNANDES, M.S. (Ed.). *Nutrição mineral de plantas*. Viçosa-MG: SBCS, 2006. p. 253-280.

CASSMAN, K.G. & WHITNEY, A.S. & STOCKINGER, K.R. Root growth and dry matter distribution of soybean as affected by phosphorus stress, nodulation, and nitrogen source. *Crop Sci.*, 20:239-244, 1980. *In*: FERNANDES, M.S. (Ed.). *Nutrição mineral de plantas*. Viçosa-MG: SBCS, 2006. p. 253-280.

CHUNG, G.; SINGH, R.J. Broadening the genetic base of soybean: A multidisciplinary approach. *critical reviews in Plant Sciences*, Boca Raton, v. 27, n.5, p. 295-341, 2008.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Acompanhamento da safra brasileira: grãos safra 2012/2013: sétimo levantamento: abril de 2013. Brasília: Conab, 2008. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_04_09_10_27_26_boletim_graos_abril_2013.pdf> Acesso em: 15 abril 2013.

CORRÊA, J. C.; MAUAD, M.; ROSOLEM, C. A. Fósforo no solo e desenvolvimento de soja influenciados pela adubação fosfatada e cobertura vegetal. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília-DF, v. 39, n. 12, p.1231-1237, dez. 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Tecnologias de produção de soja - região central do Brasil 2004. Londrina-PR: Sistemas de Produção / Embrapa Soja, out. 2011. Disponível em: <<http://www.cnpso.embrapa.br/producaosoja/SojanoBrasil.htm>>. Acesso em: 17 abr. 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos. Rio de Janeiro, 2006. 412p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Produtos e mercados. Disponível em: <http://www.snt.embrapa.br/produtos/mostrar_produto/258/>. Acesso em: 17 abr. 2013.

FAO, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Roma: FAOSTAT Database Gateway-FAO. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/>> Acesso em: 12 mar. 2013.

IBGE-INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Sistema IBGE de recuperação automática – SIDRA: Produção Agrícola Municipal: Lavoura Permanente 2010. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/>>. Acesso em: 10 de Abril de 2013.

ISRAEL, D.W. Investigation of the role of phosphorus in symbiotic dinitrogen fixation. *Plant Physiol.*, 84:835-840, 1987. In: FERNANDES, M.S. (Ed.). *Nutrição mineral de plantas*. Viçosa-MG: SBCS, 2006. p. 253-280.

KIIHL, R.A.S.; GARCIA, A. The use of the long-juvenile trait in breeding soybean cultivars. In: WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE, 4, p. 994-1000, 1989.

LEITE, P.B. *et al.* Níveis críticos de fósforo, para milho, em casa de vegetação, de acordo com a sua localização no solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa-mg, v. 30, n. 3, p.497-508, 2006.

MAUAD, M. *et al.* Influência da densidade de semeadura sobre características agronômicas na cultura da soja. *Revista Agrarian*, Dourados - MS, v. 3, n. 9, p.175-181, 2010.

NOVAIS, F.R.; SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa: UFV, 1999. 399p.

PARAÍBA - Comissão Estadual de Planejamento Agrícola. Projeto de desenvolvimento integrado do Brejo Paraibano: diagnóstico. João Pessoa: Secretaria da Agricultura, 1977. v. 1, 68p.

PIAIA, F. L. *et al.* Eficiência da adubação fosfatada com diferentes fontes e saturações por bases na cultura da soja [*Glycine max* (L.) Merrill]. *Ciência Agrotécnica*, Lavras-MG, v. 26, n. 3, p.488-499, 2002.

PRADO, R. M.; FRANCO, C. F.; PUGA, A. P. Deficiências de macronutrientes em plantas de soja cv. BRSMG 68 (Vencedora) cultivada em solução nutritiva. *Comunicata Scientiae*, Teresina-PI, n, p.114-119, 2010.

RAIJ, B. van. Avaliação da fertilidade do solo. Piracicaba: LAFRAME; Piracicaba-SP, 1983. 142p.

RAIJ, B. van. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba: Ceres;Potafos, 1991. 343p.

RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.; ALVAREZ V, V.H. Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ª aprox.. Viçosa-MG. Comissão de Fertilidade do solo do Estado de Minas Gerais – CFSEMG, 1999. p. 25-32.

ROCHA, R.S. Avaliação de variedades e linhagens de soja em condições de baixa latitude. 2009. 59 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Piauí, Teresina-PI, 2009. Disponível em: <<http://www.ufpi.br/subsiteFiles/ppga/arquivos/files/dissertacao%20renato.pdf>>. Acesso em: 18 abr. 2013.

RODRÍGUES, D.; KELTJENS, W.G.; GOUDRIAAN, J. Plant leaf area expansion and assimilate production in wheat (*Triticum aestivum* L.) growing under low phosphorus conditions. Plant Soil, 200:227-240, 1998 In: FERNANDES, Manlio Silvestre (Ed.). Nutrição mineral de plantas. Viçosa-MG: SBCS, 2006. p. 253-280.

SA, T.M. & ISRAEL, D.W. Energy status and functioning of phosphorus-deficient soybean nodules. Plant Physiol., 97:928-935, 1991. In: FERNANDES, M.S. (Ed.). Nutrição mineral de plantas. Viçosa-MG: SBCS, 2006. p. 253-280.

SANTOS, O.S. (Coord.). A cultura da soja - 1. 2. ed. São Paulo-SP: Globo, 1995.

SEDIYAMA, T. (Org.). Tecnologias de produção e usos da soja. 1. ed. Londrina, PR: Mecenas, 2009, v. 1. 314 p. In: ROCHA, R.S. Avaliação de variedades e linhagens de soja em condições de baixa latitude. 2009. 59 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Piauí, Teresina-PI, 2009.

SEGATELLI, C. R. Produtividade da soja em semeadura direta com antecipação da adubação fosfatada e potássica na cultura da *Euleunice coracana*. 2004. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SOLANO, L.; YAMASHITA, O. M. Cultivo da soja em diferentes espaçamentos entre linhas. Revista Varia Scientia Agrárias, Curitiba-PR, v. 2, n. 2, p.35-47, jul. 2011.

SOUTO, J. S. *et al.* Efeito da aplicação de fósforo no desenvolvimento de plantas de feijão guandu (*Cajanus cajan* (L) Millsp). Revista Verde, Mossoró-RN, v. 4, n. 1, p.135-140, 2009.

VALADÃO JÚNIOR, D. D. *et al.* Adubação fosfatada na cultura da soja em Rondônia. Scientia Agraria, Curitiba-PR, v. 9, n. 3, p.369-375, 2008.

VANCE, C.P.; UHDE-STONE, C. & ALLEN, D.L. Phosphorus acquisition and use: Critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. New Phytol., 157:423-447, 2003. *In*: FERNANDES, M.S. (Ed.). Nutrição mineral de plantas. Viçosa-MG: SBCS, 2006. p. 253-280.

WWF-BRASIL. Produção e exportação de soja brasileira e o cerrado. Brasília-DF: Wwf-brasil, jun. 2012. Disponível em: <http://d3nehc6yl9qzo4.cloudfront.net/downloads/wwf_soja_cerrado_web.pdf>. Acesso em: 16 abr. 2013.